



TITLE:

# Iron/Chromium Phase Decomposition Behavior in Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steels( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

CHEN, DONGSHENG

---

CITATION:

CHEN, DONGSHENG. Iron/Chromium Phase Decomposition Behavior in Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steels. 京都大学, 2015, 博士(エネルギー科学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19093>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016/03/10に公開

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	CHEN DONGSHENG
論文題目	Iron/Chromium Phase Decomposition Behavior in Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steels (酸化物分散強化フェライト鋼における鉄/クロム相分離挙動)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、クロム (Cr) を 15wt.%添加し耐食性を向上させた酸化物分散強化フェライト鋼 (ODS 鋼) における鉄 (Fe) と Cr の相分離挙動について、通常のフェライト鋼 (SUS430 鋼) や Fe-15Cr モデル合金と比較しながら論じた結果をまとめたもので、6 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論で、核融合ブランケットや先進原子力システムにおいては放射線環境下での耐性に優れた革新的な構造材料の開発が必要であると、その候補材料として高 Cr 濃度の ODS 鋼の開発研究が進められているが、ODS 鋼における Fe/Cr 相分離挙動が不明であるため、詳細な研究が必要であると述べている。</p> <p>第 2 章では、Fe-15Cr モデル合金における熱時効硬化に及ぼす合金元素添加の影響を調べ、いずれのモデル合金においても熱時効の進行に伴い Fe/Cr の相分離が進み、いわゆる Cr-rich (<math>\alpha'</math>) 相の数密度およびサイズが増大することを確認している。また、モデル合金中に形成される炭化物や析出物も硬化に寄与するが、その寄与の大きさは <math>\alpha'</math> 相に比べ小さいと結論されている。</p> <p>第 3 章では、Fe-15Cr モデル合金における熱時効硬化と相分離挙動の相関について調べ、475℃では 5000 時間の熱時効まで硬化現象がみられたが、1 万時間では過時効による硬度の低下がみられ、透過電子顕微鏡 (TEM) による微細組織観察の結果、過時効の過程では <math>\alpha'</math> 相の数密度が減少し、サイズが増大することを示し、熱時効硬化挙動が <math>\alpha'</math> 相の分布形態変化によく対応していることを確認している。また、本研究で用いた合金では、過時効に遷移する <math>\alpha'</math> 相の直径が 8nm であることを見出している。さらに、従来の各種析出硬化モデルの妥当性について検討し、熱時効硬化が <math>\alpha'</math> 相による転位障壁モデルで説明可能であり、その際に求めた <math>\alpha'</math> 相の強度因子 (0.2) は妥当であるとしている。</p> <p>第 4 章では、15Cr-ODS 鋼と通常の 16Cr-フェライト鋼 (SUS430) の熱時効硬化挙動を比較している。その結果、ODS 鋼の硬化量は SUS430 鋼に比べ、硬化量の最大値が顕著に小さいことを明らかにしている。また、通常のフェライト鋼は、時効硬化に伴い、局所すべりが促進され、室温における引張り伸びが顕著な低下を示したが、ODS 鋼は時効硬化を伴うものの、引張り伸びの低下はほとんど認められず、</p>			

通常のフェライト鋼に比べ、熱時効脆化感受性が低いことを明らかにしている。

第 5 章では、Fe/Cr 相分離に及ぼすナノサイズ酸化物粒子の影響について調べ、重要な結果が得られている。まず、エネルギーフィルター高分解能 TEM を用いて強度と組織の相関を詳細に調べた結果、ODS 鋼においては、熱時効により、ナノサイズの酸化物粒子が Cr で覆われ、Cr シェル構造が形成されるため、熱時効により形成される  $\alpha'$  相の数密度が他の材料に比べ約 1/2 に減少することを見出している。これらの結果に基づき、通常のフェライト鋼に比べ、ODS 鋼における少ない熱時効硬化量は、Cr シェル構造の形成によるマトリックス内 Cr 濃度の減少に起因していると説明している。また、ODS 鋼では熱時効による伸びの低下がほとんど認められない原因については、ODS 鋼ではサブミクロンサイズの微細な結晶粒界の 3 重点が多数存在し、それらが転位源として働き、均一変形が促進されて伸びの低下が抑制されるためと結論している。

第 6 章は総括であり、本論文では 15Cr-ODS フェライト鋼の実用化において重要課題となっている Fe/Cr 相分離挙動を調べた結果、ODS 鋼においてはナノサイズの酸化物粒子による Cr シェル構造が形成され、微細結晶粒に起因する均一すべりの促進機構が働くため、通常のフェライト鋼に比べ、熱時効脆化感受性が低くなると結論している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、クロム (Cr) を 15wt.% 添加し耐食性を向上させた酸化物分散強化フェライト鋼 (ODS 鋼) における鉄 (Fe) と Cr の相分離挙動について、通常のフェライト鋼 (SUS430 鋼) や Fe-15Cr モデル合金と比較しながら論じた結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

ODS 鋼、通常のフェライト鋼およびモデル合金に対し、475℃において 1 万時間までの熱時効を施すと、Cr-rich ( $\alpha'$ ) 相が析出し、いずれの材料も 5000 時間の熱時効により、室温における引張強度や硬さは最大値を示したが、ODS 鋼は他の材料に比べ、硬化量の最大値が顕著に小さいことを明らかにした。また、通常のフェライト鋼とモデル合金は、時効硬化に伴い、局所すべりが促進され、引張り伸びが顕著に低下するが、ODS 鋼は時効硬化を伴うものの、微細な結晶粒に起因する均一すべりの促進により、引張り伸びの低下はほとんど認められず、他の材料に比べ、熱時効脆化感受性が顕著に低いことを明らかにした。

また、エネルギーフィルター高分解能透過電子顕微鏡を用いて強度と組織の相関を調べた結果、以下の重要な結果が得られている。まず、Cr が 15wt.% の場合、475℃では 5000 時間までの時効により  $\alpha'$  相の数密度とサイズが増大するが、 $\alpha'$  相の直径が 8nm を超えるとそれ以上の熱時効では析出相の粗大化に伴い、数密度が低下することを明らかにした。次に、ODS 鋼においては、熱時効により、ナノサイズの酸化物粒子が Cr で覆われ、Cr シェル構造が形成されるため、熱時効により形成される  $\alpha'$  相の数密度が他の材料に比べ、約 1/2 に減少することを見出している。

これらの結果に基づき、ODS 鋼において熱時効脆化感受性が低くなるのは、ODS 鋼に特徴的なサブミクロンサイズの微細結晶粒に起因する均一すべり変形の促進とナノサイズの酸化物粒子の界面における Cr シェル構造の形成によると結論している。

以上、本論文は ODS フェライト鋼の Fe/Cr 相分離挙動を明らかにし、相分離に伴う強度特性ならびに微細組織変化のメカニズムを解明するとともに、ODS フェライト鋼の実用化技術開発のための有用な知見を与えており、これらの成果は学術上および實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 2 月 23 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：            年            月            日以降